Die zeitliche Gliederung der ostalpinen Metallogenese

Von WALTHER E. PETRASCHECK, Leoben

Mit 2 Abbildungen

(Vorgelegt in der Sitzung am 24. Juni 1966)

Die Theorie von der einheitlichen Vererzung und ihrer Kritik

In den Ostalpen gibt es rund 800 Erz- und Minerallagerstätten, die wenigstens zeitweise abgebaut oder bergmännisch beschürft worden sind.

Sie sind nach Mineralinhalt, Form und geologischer Umgebung deutlich in natürliche Gruppen gegliedert. Schon 1912 hat B. GRANIGG diese Gliederung erkannt und dabei 5 „Metallzonen" mit je 2—4 stofflich gekennzeichneten Untergruppen unterschieden. Trotz der damals noch viel geringeren Kenntnis der Lagerstätten und der überhaupt noch nicht eingeführten erzmikroskopischen Untersuchungsmethode hat sich diese Gruppierung bei den seitherigen Detailstudien durch zahlreiche Bearbeiter, unter denen besonders die von O. M. FRIEDRICH zu nennen sind, vorzüglich bestätigt.

Fast die Gesamtheit dieser Lagerstätten war von WILHELM PETRASCHECK 1926 unter dem Gesichtspunkt einer einheitlichen alpinen Vererzung erklärt worden. Die Erze erwiesen sich als jünger als die alpine Durchbewegung der sie einschließenden Gesteine, die „Metallzonen" in ihrer fast symmetrischen Anordnung — heißthermale Goldquarzgänge in den Zentralalpen, mittelthermale Siderit-, Magnesit- und Kupfererzlagerstätten beiderseits der zentralen Gebirgsachse, kühlthermale Blei-Zinklagerstätten in den nördlichen und südlichen Kalkalpen — wurden als temperaturbedingte Erzzonen um einen tertiären magmatischen Tiefenherd unter der Alpenachse gedeutet; die Erzzonen, die gleichsam Geoisothermen abbilden, haben das fertige Deckengebäude durchzogen. Abb. 1 würde diese Theorie schematisch veranschaulichen.

Die Auffassung von der einheitlichen tertiären alpinen Metallogenese hat durch 30 Jahre hindurch das Gedankenbild der meisten Geologen beherrscht, wenn auch manche wichtige Ergänzung vorgebracht wurde. Nur R. SCHWINNER hat sich auf Grund seiner allgemeinen Anschauung des Alpenbaus schon frühzeitig gegen diese „unitaristische" Theorie ausgesprochen. Seit 10 Jahren mehren sich die kritischen Einwände. Diese Einwände beziehen sich auf das tertiäre Alter der Metallzonen und auf ihre nicht erweisbare magmatische Herkunft. Insbesondere ist durch sehr detaillierte Studien der Erzgefüge durch C. TAUPITZ, H. J. SCHNEIDER, A. MAUCHER und O. SCHULZ nachgewiesen worden, daß ein Teil der kalkalpinen Blei-Zinkerze schon gleichzeitig mit dem Nebengestein offenbar im Gefolge der triadischen submarinen Vulkantätigkeit lagerförmig abgesetzt wurde. Der Verfasser ist nunmehr mit O. M. FRIEDRICH und L. KOSTELKA der Meinung, daß auch die neben den Lagern zahlreich vorkommenden Erzgänge und Erznester in den Triaskalken primär bei dieser frühen Vererzung entstanden sind. Einen schlüssigen Beweis dafür hat kürzlich W. POLESNIG (noch unveröffentlichte Diplomarbeit am Geologischen Institut Leoben 1966) erbracht, indem er kleine Hohlräume im erzführenden Kalk neben Blei-Zinkerzgängen abbildete, die zur Hälfte mit feinstem Erz gefüllt waren, wobei der Spiegel der Erzfüllung parallel zur heute geneigten Schichtung des Kalkes lag; diese von uns lange gesuchten „Wasserwaagen" besagen, daß die Füllung der Kleinsthohlräume mit Erz schon zu einer Zeit erfolgte, als die Kalkschichten noch horizontal lagen, also eben — wie MAUCHER und Mitarbeiter im Gegensatz zur früheren Auffassung des Verfassers immer behauptet hatten — schon zur Triaszeit am und unter dem damaligen Meeresboden[1].

Wenn allerdings noch keineswegs alle Probleme der Blei-Zinkerzlagerstätten in den Kalkalpen widerspruchslos gelöst sind, so scheint es nunmehr fast sicher, daß die oberste, kühlthermale Blei-Zinkerzetage des einheitlichen Zonengebäudes zu streichen ist.

Aber auch die mittlere Etage, jene der Magnesite, Siderite und Kupfererze ist hinsichtlich ihres alpidischen Alters, ja sogar z. T. hinsichtlich ihrer Natur als metasomatisch und epigenetisch verschiedentlich angezweifelt worden. Das aus angeblichen Magnesitgeröllen in den Werfener Sandschiefern abgeleitete vortriadische

[1] Die Argumente hingegen, die der Verfasser zusammen mit H. HOLLER, E. CLAR u. a. gegen die Deutung der Erzgänge als Produkte einer späteren Remobilisation angeführt hat, bleiben aufrecht. Die Gänge sind hydrothermal.

Alter eines Teiles der Magnesite hat W. SIEGL (1964) dadurch widerlegt, daß er diese „Gerölle“ als knollenförmige Neubildungen erkannte. Ob allerdings diese konkretionsartigen Knollen paradiagenetisch, also im frischen Triassediment gebildet sind, wie SIEGL vorzugsweise annimmt, oder erst später epigenetisch im verfestigten Gestein, ist noch nicht völlig geklärt. Aus der allgemein begründbaren Auffassung von einer wesentlich jüngeren Magnesitbildung bin ich eher geneigt, diese Magnesitknollen für epigenetisch zu halten. Die von SIEGL bei seiner sehr sorgfältigen Untersuchung beobachteten Stauchungen des ursprünglich weichkolloidalen Magnesits möchte ich nicht als zwingenden Beweis für eine Bildung in einem noch unverfestigten weichen Sandschlamm ansehen; ich beobachtete bei der Ladebrücke des Magnesitbergbaus Papades in Nord-Euböa gekröseartig gestauchte Magnesitknollen in Serpentingestein, das zur Zeit der Magnesitbildung zweifellos fest war. Der neugebildete kolloidale Magnesit gleitet also auch im festen Gestein.

Überhaupt scheinen die sandigen Schiefer des Werfener Horizontes eine knollige Ausbildung von Mineralien, die in den darunter liegenden paläozoischen Kalken und Phylliten als Verdrängungskörper oder als Gänge erscheinen, zu begünstigen. K. VOHRYZKA (1966) weist darauf hin, daß der Schwerspat im Buntsandstein bei Kitzbühel als Knollen und Imprägnation erscheint, während im paläozoischen Schiefergebirge die bekannten Schwerspatgänge auftreten. Ich selbst habe in Griechenland und der Türkei Knollen dichten Magnesites in Sandsteinen des Tertiärs gefunden, die auf Serpentin mit Magnesitgängen lagern. Es handelt sich nach der Form der Knollen in allen diesen Fällen um ursprünglich kolloidale Konkretionen in einem Grundwasser führenden Sandstein. Das alles erlaubt Analogieschlüsse auf einen epigenetischen Magnesit im Werfener Schiefer.

B e m e r k e n s w e r t b l e i b t a l l e r d i n g s , d a ß d e r M a g n e s i t d e r O s t a l p e n n i c h t v i e l h ö h e r a l s d i e u n t e r e T r i a s h i n a u f s t e i g t . Vom Kaaswassergraben im Ennstalbereich und vom Lammertal im Tennengebirge beschrieb O. M. FRIEDRICH (1963) Lagerstätten von eisenreichem Magnesit, der einen Dolomit knapp über dem Werfener Schiefer verdrängt; das begleitende Fahlerz und andere Sulfide lassen diese Magnesite als echte Verwandte der Magnesitlagerstätten der Grauwackenzone erkennen. In höheren Triaskalken der Kalkalpen ist kein Magnesit bekannt. (Die Stellung der Magnesit führenden Ortler-Trias ist noch nicht gesichert.) D a s g l e i c h e P r o b l e m b e g e g n e t u n s b e i d e n a n d e r e n E r z e n d e r G r a u w a c k e n z o n e .

Die Siderite — soweit sie überhaupt in den Kalkalpen liegen — finden sich von der Krabachjoch-Decke in Tirol über Werfen bis in die Gegend von Ternitz fast immer nur bis in den Werfener Schiefer oder den unmittelbar darüber liegenden anisischen Kalk hinaufreichend. Selbst die unterostalpine Trias am Semmering zeigt nur im Skyt und Anis eine lokale Siderit- und Barytvererzung. Nur an sehr wenigen Orten steigt der Siderit in höhere Stufen hinauf; am Rötelstein bei Aussee liegt er gangartig im norischen Hallstätterkalk, auf der Reinfalz-Alm beim Ischler Salzberg in einer Störung zwischen anisischem und norischem Kalk, bei Kleinzell im Hauptdolomit (E. Spengler), am Arzberg bei Gams im Plassenkalk (H. Kollmann). Dabei ist es nicht einmal ganz sicher, ob diese Erzvorkommen wirklich an die großen Sideritvererzung der Grauwackenzone anzuschließen sind.

Es gibt aber einen zwingenden Beweis, daß die Sideritvererzung des Steirischen Erzberges nicht nur post-skytisch, sondern auch orogen-alpidisch ist: K. Vohryzka beobachtete in der Radmer bei Eisenerz (Graben nördlich Wirtshaus zur Eiche) das ausgewalzte Basiskonglomerat der Werfener Schiefer sideritisch vererzt; also fand die Sideritzufuhr des Erzbergs und der verwandten Lagerstätten nach einer Deckenbewegung statt. Das hatte Wilhelm Petrascheck schon seit je aus dem intakten Gefüge des Eisenspates gefolgert.

Die Eisenspatlagerstätte im unteren Aniskalk der Teltschen Alm bei Aussee hält O. M. Friedrich möglicherweise für exhalativ-sedimentär. J. Haditsch hat kürzlich Spuren einer vulkanisch-exhalativen Cu-Mineralisation im Gipsvorkommen südlich von Admont nachgewiesen (1965). Submariner Vulkanismus des Zechstein ist durch die Melaphyrtuffe im Hallstätter Salz belegt. Für welche andere Vorkommen der gleichen stratigrafischen Position im Permo-Skyt-Anis das noch zutreffen könnte, bedarf erst einer neuerlichen Überprüfung. Das Eisenerz der Schäferrötz bei Werfen mit seiner Zinnoberführung und das der Taghaube am Fuße des Hochkönig mit Spuren von Gersdorffit und Fahlerz (nach H. P. Matthias, unveröffentlichte Meldearbeit am Geologischen Institut Leoben) ist jedenfalls epigenetisch und an die durch accessorisches Hg und Fahlerz charakterisierte Vererzung der Grauwackenzone anzuschließen.

Schließlich ist auch für die Kupfervererzung von Mitterberg vortriadisches Alter vermutet worden; dies deshalb, weil der Kupfererzgang in den grünen Werfener Schichten nach oben verschwindet. Diese „Grünen Werfener Schichten“ mit Gips gelten

heute als oberpermisches Haselgebirge. G. GABL (1964) hat aber einen Quarz-Kupferglanzgang in den darüber liegenden roten Werfener Breccien am Filzensattel beschrieben. Noch schlüssiger ist der tektonische Beweis eines alpidischen Alters: der Hauptgang von Mitterberg schneidet spitzwinkelig die steil S-fallende Transversalschieferung in den Pinzgauer Phylliten. Diese Schieferung ist nach GABL alpidisch, da sie auch in den Werfener Schiefern erscheint. Andererseits hat F. KARL (1952) auf Grund einer gefügekundlichen Untersuchung gezeigt, daß die Vererzung vor einigen alpidischen Deformationsakten erfolgte. J. BERNHARD (1966) hat in den Mitterberger Erzgängen drei Mineralisierungsgenerationen unterschieden, deren jüngste er für alpidisch und deren ältere beiden er für permisch hält, letzteres wegen der Begrenzung durch die grünen Schichten. (Dieses Argument scheint mir nicht zwingend, weil auch die alpidische mobilisierte jüngste Generation nicht über die offenbar impermeablen grünen Schichten hinaufstieg.) Ein intra-orogenetisches Alter stellte auch H. HELFRICH (1960) von der westlicher gelegenen Lagerstätte Röhrerbühel fest; die Kupfervererzung ist dort jünger als eine mylonitische Störungszone, aber älter als eine Vielfalt von Verwerfungen, unter denen flache jüngere „Deckelklüfte" hervorstechen. Das Erz von Brixlegg tritt bis in die mittlere Trias ein. Wir sehen somit, daß auch die Kupferkies-Fahlerz-Siderit-Vererzung der Grauwackenzone jedenfalls nachmitteltriadisch ist, daß sie aber von alpidischen Störungen z. T. noch betroffen wurde. Zu dieser Schlußfolgerung war schon K. A. REDLICH bei seinen grundlegenden Untersuchungen gelangt. Es wäre im Hinblick auf Mitterberg verfehlt, die Kupfervererzung von der Sideritvererzung zeitlich trennen zu wollen. Eher spiegelt sich hier ein Milieu-Einfluß des Nebengesteins wieder, den C. VARCEK an den analogen Lagerstätten der Slowakei erkannt hat: die chemisch inerten Nebengesteine, wie Quarzite und Tonschiefer, begünstigen die Sulfidausfällung. Wir können auch in den Ostalpen feststellen, daß die kupferreichen Gänge in den Schiefern aufsetzen, z. B. Kelchalpen, Mitterberg, z. T. Johnsbach, Hinterradmer und Neuberg im Mürzgebiet.

Insgesamt gesehen steigt also die Lagerstättengesellschaft der Grauwackenzone sehr geschwächt in die untere Trias und nur in ganz seltenen Fällen in höhere Stufen hinauf. Die Lagerstätten sind zwar überall jünger als die alpidische Metamorphose und Schieferung der sie umhüllenden Gesteine, aber doch zum Teil erheblich zerdrückt und verworfen. Das spricht zwar für eine alpidische, aber nicht gerade für eine tertiäre Vererzung.

WILHELM PETRASCHECK selbst hat 1945 einige Lagerstätten (wenn auch nicht die der Grauwackenzone) als „altalpidisch" von der tertiären metallogenetischen Epoche abgetrennt.

Ein oft erhobener Einwand gegen die tertiäre Metallogenese lautet, daß von dem postulierten tertiären Magmenherd unter der Achse der Zentralalpen nichts zu sehen sei. Die periadriatischen Tonalite liegen exzentrisch. Daher haben E. CLAR und O. M. FRIEDRICH seit langem die spätalpidische Tauernkristallisation als den der alpinen Metallogenese verwandten Vorgang angesehen und beide Erscheinungen auf Stoffmobilisation in der sialischen Tiefenwurzel des Gebirges zurückgeführt. Aber auch andere, sehr un-magmatische Hypothesen sind aus dieser vergeblichen „recherche de la paternité" für die alpinen Erze entstanden — sedimentäre ebenso wie H. SCHNEIDERHÖHNS bekannte sekundär-hydrothermale Deutung. Gegen letztere habe ich, soweit sie die Alpen betrifft, eine Reihe von Bedenken ausgesprochen (1952). Bemerkenswerterweise hat neuerdings O. M. FRIEDRICH (1962) die Verknüpfung einer Anzahl von Erzlagerstätten der Zentralalpen mit Tonalitporphyritgängen betont. Aber dies gilt nur für bestimmte Bereiche (Kreuzeckgruppe, Ostkärnten), wo eine Verbindung mit dem tertiären Magmenherd augenscheinlich wird.

Und noch eine Erscheinung ist mit dem einheitlichen metallogenetischen Zonengebäude nicht gut vereinbar: es fehlen die mineralparagenetischen Übergänge zwischen den Hauptzonen — seitlich ebenso wie nach der Tiefe.

Diese Unklarheiten bezüglich des Alters und der Herkunft der alpinen Lagerstätten finden, so scheint mir, eine Klärung, wenn wir die metallogenetische Entwicklung in der Ostfortsetzung des Gebirgssystems, in den Karpaten- und Balkanländern betrachten.

Die metallogenetischen Stadien in den Karpaten und Balkangebirgen

Die Lagerstätten des Zips-Gömörer Erzgebirges (Spiško — gemerske rudnohorie) in den slowakischen Karpaten sind bekanntlich denen der ostalpinen Grauwackenzone fast gleich und haben daher auch seit jeher zu gleichartigen Diskussionen Anlaß gegeben. Die tschechoslowakischen Lagerstättenforscher sind unter Verwendung moderner Untersuchungsmethoden und dank

des etwas einfacheren geologischen Baus dieses Gebirgsabschnittes — im Vergleich zu der in zwei Decken geteilten und in die Tiefe eingeschuppten Grauwackenzone — zu einigen klaren Altersbestimmungen gelangt.

In den Werfener Schiefern der Westkarpaten liegen verschiedentlich kleine Roteisenlager, die von J. KAMENICKY (1953) mit dem untertriadischen Magmatismus verknüpft werden. Die Bildung der Magnesit-Siderit und Kupfererzlagerstätten in den paläozoischen Schichten des Zipser Erzgebirges hat M. MAŠKA (1952) aus geologischen Gründen als mittelkretazisch erklärt und mit einem granitischen Tiefenherd in Verbindung gebracht. J. KANTOR hat durch die A/K-Methode das kretazische Alter (97 Mill. Jahre) der Gemeridengranite erkannt, die in kleinen Durchbrüchen zwischen den paläozoischen Schichten sichtbar werden. Eine exakte Bestätigung des kretazischen Alters der Kaschauer Magnesite (Bankov bei Košice) und des miozänen Alters der Schemnitzer Golderzgänge (Spitaler in Banska Stiavnica) erbrachten V. HANUŠ und M. KRS (1963) mittels einer paläomagnetischen Untersuchung der Hämatiteinschlüsse in slowakischen Erzen. Zu ähnlichen Schlüssen führt die Betrachtung der Eisenspatlagerstätte von Rudabanya in Nord-Ungarn, die zuletzt von G. PANTO (1956) ausführlich bearbeitet worden ist: tektonische Linsen von zerdrücktem anisischem Dolomit in skytischen Schiefern sind metasomatisch in ein intaktes Siderit-Ankerit-Erz mit begleitendem Baryt, wenig Kupferkies — und bezeichnenderweise — Quecksilberfahlerz umgewandelt worden und wurden nachher vermutlich im Jungtertiär in entgegengesetzter Richtung neuerlich geschuppt. Die Hauptschuppung geht auf die mittelkretazische Karpatenfaltung zurück. In den untertriadischen Schiefern liegen kleine synsedimentären Eisenerzlager. Es ergibt sich also für die Westkarpaten eine schwache untertriadische Eisenvererzung, eine ebenfalls schwache mitteltriadische Pb-Zn-Vererzung (Plešivec), eine mittel- bis oberkretazische Magnesit-Siderit-Kupfervererzung und eine jungtertiäre Goldvererzung; die letztere, wenngleich allgemein als „vulkanogen“ bezeichnet, geht auf tiefere Granodiorite und Quarzdiorit-Intrusionen zurück (M. BOEHMER 1961, M. KODĚRA 1963).

In den Südkarpaten liegt die oberkretazische Eisen- und Kupfervererzung des Banats. Wegen der Kontaktnähe erscheint das Eisen als Magnetit. Die Sideritlagerstätten der Poiana Rusca, von mir früher dem oberkretazischen Banatitmagmatismus zugeordnet, sind nach KRÄUTNER altpaläozoisch-sedimentär.

Die Balkaniden Nord-Serbiens und Bulgariens haben nur einen schwachen jurassischen Initialvulkanismus, der einige kleine polymetallische Sulfidlagerstätten brachte. Die submarinen Andesite des Senon lieferten Manganerz, die anschließenden laramischen Intrusionen zahlreiche Kupferlagerstätten und einige kleinere kontaktnahe Magnetitlagerstätten (Ostbulgarien). In diese Epoche gehört wohl auch die große metasomatische Sideritlagerstätte von Kremikovci bei Sofia, woselbst mitteltriassischer Dolomit durch Siderit mit begleitenden Sulfiden verdrängt ist. Die reiche tertiäre Buntmetallvererzung liegt weiter im Süden in der Rhodopischen Masse. (Neueste Zusammenfassung bei I. JOVČEV 1965.)

In den Dinariden sind die geosynklinalen Vererzungsphasen zur Bildung größerer Lagerstätten entwickelt: Zur unteren Trias gehören z. B. die Eisenerzlager (Siderit und Hämatit) von Vares, das Quecksilbererz von Idrija, zur mittleren Tiras die Pb-Zn-Lagerstätten der Crna Gora und Sloweniens, zum Jura die an Ophiolithe geknüpften Chromerz-, Kies- und Pyritlagerstätten des westlichen Jugoslawiens und der osthellenischen Zone. Der saure bis intermeditäre Magmatismus in Serbien, Makedonien und Ostgriechenland hat eine Fülle von Buntmetallerzen geliefert. (Neueste Zusammenstellung bei J. DUHOVNIK 1956 und S. JANKOVIC 1962, aufbauend auf A. CISSARZ.)

Im Bereich der Karpaten und der Balkanhalbinsel sind fast alle alpidischen Erzlagerstätten datierbaren magmatischen Vorgängen zugeordnet, wie ich seit 25 Jahren schrittweise zu zeigen versuchte, aber diese Vorgänge währen vom Geosynklinalstadium der Trias und des Jura über die orogenen Stadien der Mittelkreide und des Alttertiärs bis in die jungtertiären Spätphasen der Gebirgsbildung.

Diese magmatisch-metallogenetische Entwicklung läßt sich bei Heranziehung der analogen Lagerstättentypen wie folgt auf die Ostalpen übertragen (s. nebenstehende Tabelle).

Die Vererzung der Alpen im Verhältnis zur Deckenbewegung

Die aus Südosteuropa abgeleiteten metallogenetischen Phasen führten in den Alpen zu einem komplizierteren Vererzungsbild, weil die einzelnen Lagerstättengruppen teils vor, teils nach den orogenen Phasen des Deckenvorschubs gebildet worden sind. Die Bewegungsgeschichte der Ostalpen ist kürzlich von E. CLAR

	Ostalpen		Westkarpaten		Balkaniden		Dinariden	
	Magmatite	Erze	Magmatite	Erze	Magmatite	Erze	Magma	Erze
Neogen	Andesit	Sb (Schlaining)	Rhyolit Andesit	Sb (Schemnitz) Au (Kremnitz)			Andesit Granodiorit Granit	Sb (Kostajnik) Pb-Zn (Laurion) Pb-Zn (Trepča) Mo (Kapaonik)
Paläogen	Tonalite	Au (Tauern) Fe (Hütten-berg) (Engadin)			Diorit Andesit	Cu, Fe (Burgas) Cu (Bor)		
O. Kreide M. Kreide	Palingenese	PbZn (Graz) Fe (Erzberg) Cu (Mitter-berg) Mg (Veitsch)	Gemeriden Granit	Sb Fe (Dobšina) Mg (Košice)	Andesit	Mn (Požarevo)		
U. Kreide Malm								
Dogger Lias	Ophiolite	Kieslager (Fragant)			Diabas	Kieslager	Ophiolit	Kies u. Cu (Ermioni) Cr
Karn- Ladin	Porphyrit Tuff	Pb Zn (Bleiberg)		Pb Zn (Plešivec)			Porphyrit	PbZn (Litaj, Crna Gora)
Anis- Skyt	Diabas	Ba (Semmering) Fe (Aussee)					Keratophyr	Fe (Vares)
O. Perm	Quarz-porphyr Melaphyr		Quarz-porphyr Melaphyr	Ba Fe (Šankovce)				

(1964) an Hand grundsätzlicher Querschnitte dargestellt worden. Der folgende Versuch, die Interferenz von Vererzung und Deckenbewegung zu erfassen, weicht nur in einem Punkt von dem CLARschen Bewegungsbild ab, nämlich in der Auffassung über den Zeitpunkt der Hauptüberschiebung des Ostalpins über die Tauern: während CLAR im Anschluß an H. P. CORNELIUS diesen Überschiebungsakt in das Eozän verlegt, schließe ich mich der ausführlichen Argumentation A. TOLLMANNS (1965) an, daß dieser Vorgang zur mittleren Kreidezeit stattfand. Übigens nimmt auch CLAR an, daß das Südpenninikum damals schon von den ostalpinen Schubmassen überdeckt war.

Wie in den vorigen Kapiteln gezeigt, begann eine schwache alpidische Vererzung im Permo-Skyt im Gefolge eines initialen (oder zum Variscikum subsequenten?) Melaphyr- und Quarzporphyrvulkanismus. Seine Laven und Tuffe liegen in salinaren bis flachmarinen Schichten. Die stärkeren Vererzungsanzeichen liegen an der oberen Grenze der Werfener Schiefer bzw. des Buntsandsteins im unteren anisischen Kalk. Das Erz ist vorwiegend Eisenerz. Ein höherer Mangangehalt verbunden mit feinst verteilten Sulfiden im Eisenerz ist nach FRIEDRICH ein Argument für eine sedimentäre Entstehung der kleinen Lagerstätte Teltschen-Alm bei Aussee (FeI). Welche Lagerstätten sonst noch hinzugehören, ist nicht hinreichend untersucht und wohl auch schwer entscheidbar. Dem Gedanken O. TUFARS, daß die Schwerspatvorkommen um den Sonnwendstein, die z. T. mit kleinen Eisenerzvorkommen im auflagernden Aniskalk verbunden sind, ihre Mineralführung aus einem Bariumgehalt der übrigens spärlichen Feldspäte des Semmeringquarzits verdanken, kann ich nicht beipflichten. Da müßte es doch sehr viel häufiger Barytlagerstätten geben. Wohl aber wäre im Sinne einer lateralsekretionären Deutung denkbar, daß das Eisen aus den roten Werfener Sandsteinen stammt, als diese von Hydrothermen durchflossen wurden. Gelegentliche Bleichung derselben fiel mir bei Ternitz auf.

Eine echte Geosynklinalvererzung ist nach der heutigen Auffassung die Blei-Zinkvererzung des mittleren Trias in den Südlichen und Nördlichen Kalkalpen (s. S. Pb-Zn I der Abb. 2). Es ist verständlich, daß diese Vererzung in den Karawanken, im Drauzug und in den Südalpen reicher war als in der heutigen Inntaldecke Tirols und Bayerns, weil deren Heimat vor dem Deckenschub immerhin erst nördlich an den Drauzug anschloß. Auch der ladinische submarine Vulkanismus war im Süden stärker. Dies macht es wohl auch verständlich,

daß die epigenetischen Lagerstättenformen, also die quergreifenden Gänge und die Hohlraumfüllungen im festen Wettersteinkalk in den südlichen Alpen gegenüber den marin-sedimentären, exhaltiv gebildeten Lagen vorherrschen, während es in den Bayrischen Kalkalpen umgekehrt ist. Im Süden lag die magmatische Quelle, von der aus die Erzlösungen sich ihren Weg durch den Meeresuntergrund bis zum Meeresboden bahnten. Die Trennung von Karawanken-Trias und Nordalpen-Trias durch den Deckenschub hat es bewirkt, daß die Blei-Zinklagerstätten symmetrische telethermale Außenzonen der Metallogenese vortäuschen.

Die Hauptvererzung in der Grauwackenzone ist nach den neueren eindeutigen Befunden an den gleichartigen slowakischen Erzen wahrscheinlich mittelkretazisch. Das hat schon M. Maška vor 10 Jahren vermutet und ich möchte mich in Revision meiner früheren Auffassung den Erkenntnissen der slowakischen Kollegen anschließen. Das frühalpidische Alter der Siderit- und Kupfervererzung habe ich schon auf Seite 61 zu begründen versucht. Einen geradezu zwingenden Beweis dafür hat A. Alker (1962) in einer Notiz mitgeteilt, die mir erst kürzlich in diesem Zusammenhang in die Hand kam. Alker fand in den Gosaukonglomeraten der Kainach im Oswaldgraben große Mengen von Sideritgeröllen, denen auch Quarzporphyre und Tuffe zugesellt waren, wie sie in der Porphyroidserie des Steirischen Erzberges vorkommen. Alker bestimmt daraus das Alter der Vererzung als posttriadisch und vorgosauisch. Erwähnenswert ist noch, daß in den Gosauschichten des Muttekopf von O. Ampferer ein Sideritgeröll gefunden wurde und daß die Basis der Gosauschichten von Gams nahe dem sideritisch vererzten Jurakalk eine sehr eisenreiche Verwitterungsschicht zeigt.

Wenn aber zur Zeit der mittleren Kreide das ostalpine Deckensystem ganz oder wenigstens zum Teil über das Penninikum der Tauern geschoben war, also erst seinen halben Weg zurückgelegt hatte, so wurden die Siderit- und Kupferlagerstätten während dieser Zwischenposition der Decken gebildet und erst durch die nachkretazischen Deckenbewegungen weiter nordwärts bewegt. Das findet eine gute Begründung in der Feststellung K. Vohryzkas (1966), daß die Erzreviere von Schwaz und Brixlegg etwa ebenso weit nördlich von der Tauernkuppel liegen wie die nachkretazische Überschiebungsweite der Kalkalpen über den Flysch beträgt. Auch das Deformationsbild der Kupfererzgänge ist nach Vohryzka mit einer Entstehung über dem „Herd“ und einer späteren Horizontalverfrachtung gut vereinbar: die Gänge von

Mitterberg, Röhrerbühel, Schwaz setzen 800—1000 m fast vertikal in die Tiefe, werden aber vielfach durch flache Verwerfungen zerstückelt. Vielleicht wäre auch der postsideritische flache CHRISTOPH-Verwurf am Steirischen Erzberg diesem etwas unsanften Nordtransport zuzuschreiben. Aus der Tatsache, daß in dem sideritführenden Abschnitt der Kainacher Gosau nur paläozoische und mesozoische Geröllkomponenten, aber keine Gerölle von Kristallin vorkommen, kam ALKER zu dem Schluß, daß das Muralpenkristallin zur Zeit der Gosauablagerung von paläozoischen und mesozoischen Schichten bedeckt war. Das paßt gut zu der Vorstellung einer Vererzung der Eisenerzer Alpen zu vorgosauischer Zeit, als diese Decken noch auf dem Rücken der östlichen Zentralalpen lagen. Es ist aber festzuhalten, daß die Vererzung von Tirol bis nach Niederösterreich jünger als die alpidische Metamorphose und Schieferung der Nebengesteine ist. Das gilt auch für die zahlreichen kleinen Lagerstätten östlich des Wechsels, die von O. TUFAR mikroskopisch sehr gut studiert und für variscisch gehalten wurden.

Zeitlich fügt sich auch die Magnesitbildung besser in diese Vorstellung ein als in die einer tertiären Metallogenese. R. SCHWINNER schrieb 1937: „Die Magnesitbildung, die metasomatische Ersetzung von Dolomit durch Magnesit muß zwischen zwei Faltungen stattgefunden haben."

Bis heute ist es unklar, ob die Magnesitlagerstätten mit den Sideritlagerstätten unmittelbar verknüpft sind, wie es K. A. REDLICH und WILHELM PETRASCHECK annahmen, oder ob sie etwas älter sind (F. ANGEL). In der östlichen Grauwackenzone liegen die Magnesite bekanntlich in der tieferen (südlicheren) Carbon-Decke, die Siderite in der höheren (nördlicheren) Altpaläozoikum-Decke. Auch westlich der Salzach liegen die Magnesite südlicher als die Siderite. Dies wurde so gedeutet, daß die Magnesite ein etwas tieferes, dem Vererzungsherd näheres Stockwerk darstellen. Dem steht jedoch entgegen, daß die von O. M. FRIEDRICH und H. MEIXNER hervorgehobenen Übergangsglieder zwischen Magnesit und Siderit (Mischcarbonate Mesitin und Sideritplesit) gewöhnlich nicht im Grenzbereich zwischen beiden Lagerstättengruppen, sondern sehr häufig über den Sideritlagerstätten in der Unteren Trias liegen: Werfen, Lammertal, Kaaswassergraben, Neuberg. Ein Milieueinfluß auf die sideritbringenden Thermen durch Mg-haltige Porenwässer in der z. T. leicht salinaren Skyt-Serie ist denkbar. Es kommen aber solche Mischglieder vereinzelt auch im Paläozoikum vor, wie in Flachau und bei Turrach.

Die reinsten Magnesitlagerstätten liegen in der Tat in einer tiefertektonischen Position, wie z. B. jene der Millstätter Alpe

oder von Fieberbrunn. Vielleicht ist das Fehlen von Übergängen in der steirischen Grauwackenzone durch das Auseinandergleiten einer einheitlicheren vertikalen Abfolge längs der norischen Deckengrenze zu erklären.

Die mittelkretazische Vererzungsphase ist durch accessorisches Quecksilber charakterisiert. Es sei an Zinnober bzw. Hg-Fahlerz in Schwaz, Brixlegg, Entachen (im Magnesit nach W. SIEGL), Mitterberg, Neuberg, Payerbach erinnert. In ganz gleicher Weise begleitet Quecksilbererz die Spatlagerstätten des Zips-Gömörer-Erzgebirges.

Mehrfach war erwähnt worden, daß die Siderit-, Magnesit-Kupfervererzung nicht wesentlich über die untere Trias hinaufsteigt. Schon WILHELM PETRASCHECK hat diese Erscheinung damit erklärt, daß mit dem triadischen Deckgebirge ein anderes Grundwasserregime einsetzte. Entweder waren die Werfener Schiefer ein fast undurchlässiger Stauhorizont für die aufsteigenden Lösungen (Gegend des Erzberges), oder die untertriadischen Sandsteine und Kalke enthielten kaltes Grundwasser, daß eine rasche und z. T. auch mineralogisch abweichende Mineralausfällung bewirkte. Unsere Auffassung von der mittelkretazischen Spatvererzung (Phase Fe II), während der die kalkalpine Trias noch wesentlich weniger in Decken zerlegt war, als es durch den turonen und den eozänen Haupt- und Nachschub geschah (A. TOLLMANN 1966), stützt die Vorstellung von einem ausgedehnten, hydrologisch wirksamen Deckgebirge.

In die mittelkretazische Vererzungsphase lassen sich m. E. auch am besten die Blei-Zinkerzlagerstätten im Grazer Paläozoikum und im Paläozoikum von Mittelkärnten einfügen (Pb Zn II der Abb. 2). Für die Verknüpfung mit der Spatvererzung spricht die reichliche Ankerit-Fahlerz- und Kies-Gangart in der Lagerstätte des Grazer Paläozoikums sowie auch die nahegelegenen Zinnobervorkommen bei Gratwein. Die Grazer Lagerstätten scheinen auch entsprechend ihrer tektonischen Beanspruchung altalpidisch zu sein. Die Mittelkärntner Blei-Zinkerzvorkommen von Moosburg[2], Meiselding, Treffen mit ihrer sideritischen Gangart hat FRIEDRICH schon 1953 mit den Grazer verglichen. Dieser

[2] Das von GRÖGLER und SCHROLL festgestellte praecambrische Alter des Bleis von Moosburg auf Grund des Pb 206/Pb 207 Verhältnisses braucht die geologische Interpretation nicht zu beeinflussen. Das Schiefergebirge nördlich des Wörther Sees ist paläozoisch und nicht praecambrisch.

Gruppe ist auch nach dem Mineralinhalt das Blei—Zinkvorkommen im Aniskalk des Arikogel bei Hallstatt vergleichbar, das eine höhere Zone der Spatvererzung repräsentiert. Die kleinen Blei-Zinkvorkommen in den N-Kalkalpen bei Steyerling und Annaberg, N.Ö., könnten ebenfalls magmenferne Glieder der Pb II-Gruppe sein.

Für die mittelkretazische Vererzung der Ostalpen ist — im Gegensatz zur Slowakei mit den kleinen Durchbrüchen von kretazischem Gemeriden-Granit — kein etwa gleichzeitiger Magmatismus bekannt. Bei dem großen Ausmaß der mittelkretazischen Orogenese wird es aber selbstverständlich sein, hiebei im Sinne von E. CLAR Aufschmelzung und Mobilisation von Gesteinsmaterial in der Gebirgswurzel anzunehmen, die auch den Metallbestand der Minerallagerstätten geliefert hat. Gerade für die Magnesitlagerstätten wird man an die Idee von R. SCHWINNER (1937) erinnert, der diese mit der Nähe von ultrabasischen Massiven in Zusammenhang gebracht hat; diese hätten bei der Serpentinisierung das Mg für die Lagerstättenbildung geliefert.

Diese Vorstellung erscheint noch plausibler, wenn wir — im Gegensatz zu SCHWINNER — überzeugt sind, daß die magnesitführenden ostalpinen Schubmassen zur Zeit der Lagerstättenentstehung über den Tauern lagen, und zwar über dem ophiolitreichen südpenninischen Trog A. TOLLMANNS. Eine Häufung von Magnesitvorkommen liegt heute im salzburgisch-tirolischen Grenzgebiet der Grauwackenzone gerade nördlich der Serpentinzone der mittleren Hohen Tauern. FRIEDRICH hat die mit den Magnesiten und Sideriten der Grauwackenzone spurenhaft auftretenden Cr- und Ni-Mineralien als Indiz der Beteiligung metamorphen Stoffumsatzes aus Serpentin gedeutet.

Und doch stellt sich dieser einleuchtenden Erklärung der Magnesit- und Sideritlagerstätten ein Bedenken entgegen, wenn wir die gleichartigen Lagerstätten der Slowakei betrachten. Auch von dort werden Chromglimmer und Nickelminerale gemeldet — aber es besteht kaum Grund, unter den Gemeriden eine „südpenninische“ Einheit anzunehmen. Selbst ein so konsequenter Vertreter weitreichender Deckenkorrelierung wie A. TOLLMANN nimmt an, daß der Südpennidentrog mit dem Serpentin von Bernstein im Burgenland sein östliches Ende findet und die Gemeriden den wurzelnahen Teil des Aequivalentes des Oberostalpins bilden.

Noch ein anderer Gedanke verdient Verfolgung. Die ungeheuer reiche Mineralisierung der Ostalpen mit Carbonaten des Eisens und Magnesiums reicht ungefähr so weit nach Westen, wie das

Altpaläozoikum in kalkreicher Fazies auftritt. Es könnte sehr wohl sein, daß bei der Gebirgsbildung auch Teile der altpaläozoischen Decke im Bereich der alpin-dinarischen Narbe oder auch im Bereich der heutigen Grauwackenzone randlich in die Tiefe gezogen worden sind. O. AMPFERER hat die Grauwackenzone schon vor langer Zeit einmal als „Verschluckungszone“ angesprochen. Bei einem solchen Herabtauchen mächtiger Kalkserien in den Bereich hoher Temperaturen müssen große Mengen von CO_2 freigeworden sein, die jene Carbonatmineralisierung (die ja nicht nur metasomatisch in Kalk, sondern auch gangförmig in Schiefern vorkommt) bewirkt haben können.

Wenn uns nach dieser Darstellung für die mittelkretazische Vererzung der Ostalpen im Gegensatz zur Slowakei eine sichtbar magmatische Quelle fehlt, so gilt das nicht für die alttertiäre. FRIEDRICH hat gerade in seinen letzten zusammenfassenden Arbeiten auf die enge räumliche und zeitliche Verknüpfung der Erzgänge und der Tonalitporphyrgänge in den südlichen Zentralalpen hingewiesen. Er hat ferner betont, daß die Erzgänge der Kreuzeckgruppe ein völlig unversehrtes, z. T. noch drusiges Gefüge haben. Tonalitporphyritgänge waren von SCHWINNER bis in das Kärntner Nockgebiet, ja vereinzelt bis in die Gegend von Turrach verfolgt worden.

Ich möchte die anerkannt nach-tektonischen Golderzgänge der Hohen Tauern, der Kreuzeckgruppe und die verwandten vereinzelten Golderzgänge weiter im Osten der jüngsten größeren Phase der alpinen Metallogenese zuschreiben, die mit dem periadriatischen Tonalitplutonismus zu verknüpfen ist. Und dieser Vererzungsphase ist m. E. auch der „südliche Eisenspatzug“ zugehörig, der von Innerkrems und Turrach über Hüttenberg bis zum Lavanttal verläuft. Als apomagmatisches Glied gehört hierher die Siderit-Pb-Zn-Ag-Lagerstätte von Oberzeyring. Im Siderit von Hüttenberg wurde gediegenes Gold gefunden und umgekehrt erhalten die Golderzgänge der Tauern sideritische Gangart, wo sie durch Kalkbänke hindurchsetzen. Vom Hüttenberger Bleiglanz bestimmte GRÖGLER und SCHROLL (1961) ein Alter von 60 Mill. Jahren, das dem des eozänen Tonalitplutonismusguß entspricht. Die Tauerngolderze, Kliening und Hüttenberg führen accessorisch etwas Wismut, während das für die kretazische Vererzung kennzeichnende Quecksilber fehlt. (Die Zinnobervorkommen in der Umgebung von Turrach liegen in den altpaläozoischen Schiefern, in denen auch

die dortigen Magnesitlagerstätten der kretazischen Phase liegen[3].) Der Siderit von Turrach verdrängt nach FRIEDRICH die mylonitisierte Trias an der Überschiebungsbahn — es liegt also hier die Vererzungsgeneration Fe III unter der Vererzungsgeneration Mg II. Auch die Vererzung im Engadin ist alttertiär (VOHRYZKA 1966).

CLAR (1964) hat kürzlich eine andere, sehr beachtenswerte Vorstellung vom Verhältnis des südlichen zum nördlichen Eisenspatzug zur Diskussion gestellt: Der nördliche Spatzug der Grauwackenzone sei das nach Norden verfrachtete höhere Aequivalent des im Kristallin zurückgebliebenen, magmennäheren Kärntner Spatzuges. Gegen diese Auffassung scheint mir der Unterschied des Deformationsgrades, der Begleitmetalle, der absoluten Altersbestimmung in der Slowakei zu sprechen. Auch würde sich dann eine ganz unwahrscheinlich große primäre Vererzungstiefe ergeben, wenn man bedenkt, daß der Siderit des Erzberges selbst schon 1000 m tief reicht. Ein letztes Wort kann nur die nun auch in Österreich vom Institut für angewandte Geophysik in Leoben in die Wege geleitete paläomagmatische Untersuchung erlauben.

Die vorstehenden Ausführungen haben gezeigt, daß die Konzeption von der alpinen Metallogenese, die von WILHELM PETRASCHECK vor 40 Jahren aufgestellt und von CLAR, FRIEDRICH und MEIXNER ausgebaut wurde, auch hier angenommen wird. Aber diese Metallogenese wird zeitlich auf die ganze Dauer der Evolution der Ostalpen vom alpinen Geosynklinalstadium bis in das spätorogene tonalitische Intrusionsstadium auseinandergezogen und mit den etwa gleichzeitigen und ähnlich gearteten Metallisationsphasen in SO-Europa korreliert. Die mehrphasigen Deckenschübe und die spätorogene Gold- und Sideritvererzung im zentralen Alpenkern haben das scheinbare Bild einer einheitlichen symmetrisch-zonaren Vererzung geschaffen.

Die zahlreichen Lagerstätten der Ostalpen werden nun darauf hin zu überprüfen sein, ob diese Vorstellung auf sie anwendbar ist, ob sie somit stimmt.

Zitierte Literatur

(Auswahl)

ALKER, A.: Über Gerölle aus der Gosau von Kainach in Steiermark. — Mittlg. f. Min am Landesmus. Joanneum 1, 1962, Graz. p. 19—20.

BERNHARD, J.: Die Mitterberger Kupferkieslagerstätte, Erzführung und Tektonik, Jb. Geol. BA, 109, Wien 1966, p. 1—90.

[3] FRIEDRICH (1965) hat gezeigt, daß diese Zinnobervererzung frühalpidisch war.

CLAR, E.: Zum Bewegungsbild der Ostalpen. Z. D. G. G. 110/1964. Hannover 1965, p. 267–291.

— Über die Herkunft der ostalpinen Vererzung. Geol. Rundschau 42, 1953, p. 107–127.

FRIEDRICH, O. M.: Zur Genesis des Magnesits im Kaaswassergraben und über ähnliche Vorkommen bei Diegrub im Lammertal. Radex Rundschau 2/1963, p. 422–437.

— Die Quecksilberlagerstätten Kärntens. — Arch. f. Lagerst.-Forschung i. d. Ostalpen 3, Leoben 1965, p. 71–125.

— Neue Beachtungen zur ostalpinen Vererzung. Karinthin 45/46, 1962, p. 210–228.

GRANIGG, B.: Über die Erzführung der Ostalpen. Mittlg. Geol. Ges. Wien V, 1912, p. 345–367.

HANUŠ-KRS, M.: Palaeomagnetic dating of hydrothermal mineralization of Spiško-gemerske Rudohorie aree. Rozpr. čecho-slov. Akad. věd 73, 14 Prag 1963, p. 1–87.

HELFRICH, H.: Die Ergebnisse der praktisch geologischen Untersuchungen im alten Bergbaugebiet Röhrerbühel (Tirol) in den Jahren 1952–1955. Jahrb. Beol. B. A. 103, Wien 1960, p. 205–234.

JANKOVIC, S.: Die Erzprovinzen Jugoslaviens. — Festschrift zum Leobener Bergmannstag 1962, Wien — p. 93–108.

JOVTCHEV, Y.: Notions fondamentales sur la géologie et les richesses minerales du territoire de la R.P. de Bulgarie. — VII Kongr. Karpatho-Balkan Assoz. Sofia 1965, p. 126–153.

KARL, F.: Anwendung Gefügeanalytischer Arbeitsmethoden am Bereich eines Bergbaus (Kupferkiesbergbau — Mitterberg, Salzburg). Anz. Öst. Ak. Wiss. mat.-nat. Kl. 9, Wien 1952, p. 67–69.

MEIXNER, H.: Mineralogisches zu Friedrichs Lagerstättenkarte. Radex Rundschau 7/8, 1953, S. 434–444.

PANTO, G.: Constitution géologique de la chaine de minerai de fer de Rudabanya. Jahrb. Ungar. Geol. Anst. Vol. 46/2. Budapest 1956, p. 329–637.

PETRASCHECK, WILHELM: Metallogenetische Zonen in den Ostalpen. C. R. 14, Congr. Geol. Inst. Madrid 1926, p. 108–110.

— Die Magnesite und Siderite der Alpen. Sitzber. Ak. d. Wissensch. Wien, mat.-nat. Kl. 141, Wien 1932.

PETRASCHECK, W. E.: Zu H. Schneiderhöhns neuer Auffassung der alpinen Metallogenese. B. u. H. Monatshefte 97, Wien 1952.

SIEGL, W.: Die Magnesite der Werfener Schichten im Raume Leogang bis Hochfilzen sowie bei Ellmau in Tirol. Radex Rundschau 3/1964, p. 179 bis 191.

SCHWINNER, R.: Die Lagerstätten des kristallinen Magnesits und ihre Verteilung im Gebirgsbau der Ostalpen. B. u. H. — Jb. 85, Wien 1937, p. 306–314.

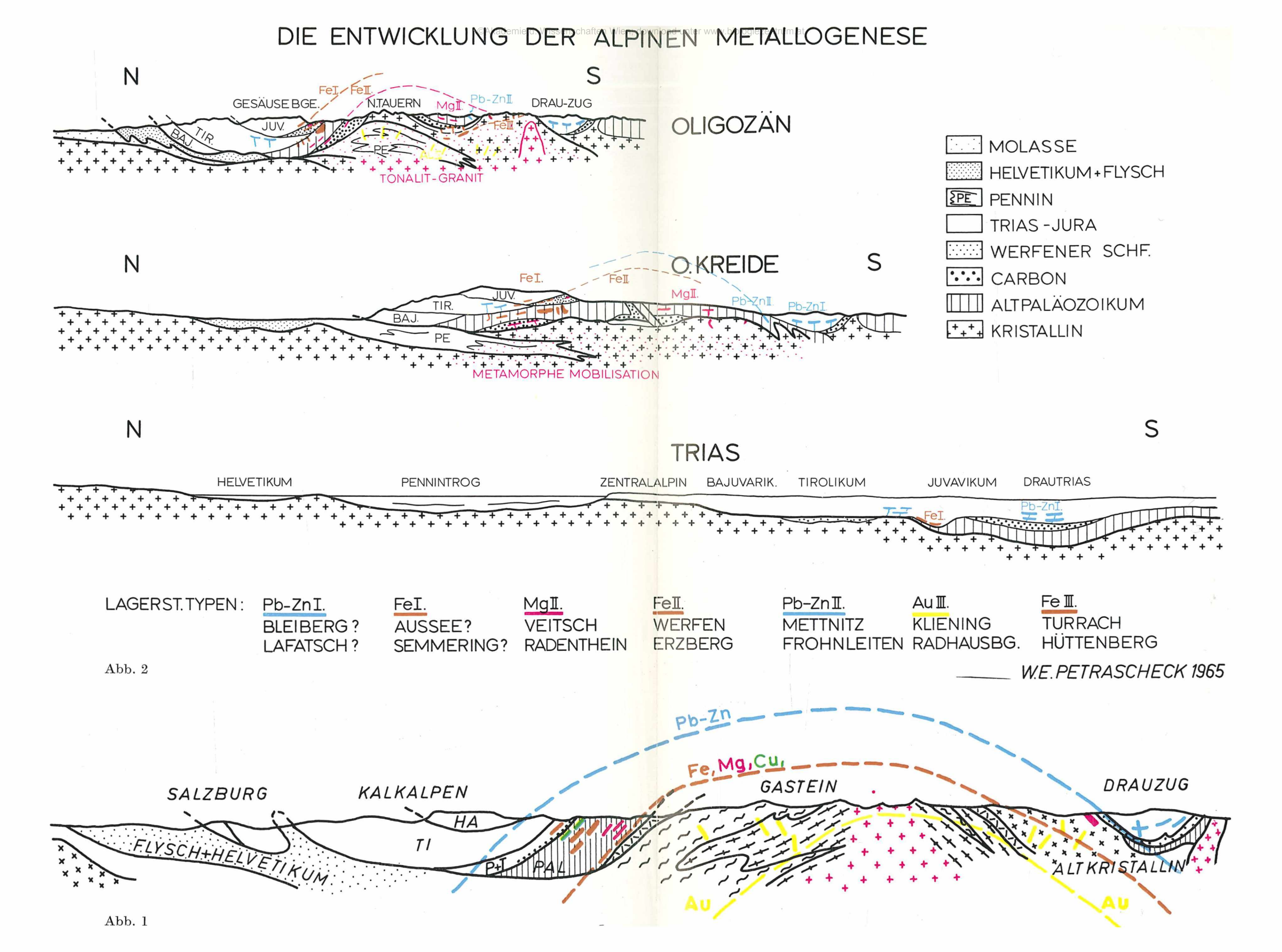
TOLLMANN, A.: Die alpidischen Gebirgsbildungsphasen in den Ostalpen und Westkarpaten. Geotektonische Forschungen 21, Stuttgart 1966.

VARCEK, C.: Zonale Verteilung der hydrothermalen Vererzung im Zips-Gömörer Erzgebirge und Einfluß des geologischen Milieu auf den Charakter der Mineralisation. Geologicke prace, Vol. 60, Bratislava 1961, p. 281—303.

VOHRYZKA, K.: Zur alpidischen Metallogenese in Nordtirol. B. und H. Monatshefte 111, Wien 1966, April, p. 190—193.

Tafelerklärung

Abb. 1. Schema der einheitlichen Vererzung
Abb. 2. Schema der etappenweisen Vererzung



DIE ENTWICKLUNG DER ALPINEN METALLOGENESE
N
S
OLIGOZÄN
GESÄUSE BGE.
N.TAUERN
DRAU-ZUG
FeI.
FeII.
MgII.
Pb-ZnII.
FeIII.
JUV.
TIR.
BAJ.
PE
AU
TONALIT-GRANIT
MOLASSE
HELVETIKUM + FLYSCH
PE
PENNIN
TRIAS - JURA
WERFENER SCHF.
CARBON
ALTPALÄOZOIKUM
KRISTALLIN
O.KREIDE
FeI.
FeII.
MgII.
Pb-ZnII.
Pb-ZnI.
JUV.
TIR.
BAJ.
PE
METAMORPHE MOBILISATION
TRIAS
HELVETIKUM
PENNINTROG
ZENTRALALPIN
BAJUVARIK.
TIROLIKUM
JUVAVIKUM
DRAUTRIAS
FeI.
Pb-ZnI.
LAGERST. TYPEN:
Pb-ZnI.
BLEIBERG ?
LAFATSCH ?
FeI.
AUSSEE?
SEMMERING?
MgII.
VEITSCH
RADENTHEIN
FeII.
WERFEN
ERZBERG
Pb-ZnII.
METTNITZ
FROHNLEITEN
AuIII.
KLIENING
RADHAUSBG.
FeIII.
TURRACH
HÜTTENBERG
W.E. PETRASCHECK 1965
Pb-Zn
Fe, Mg, Cu,
SALZBURG
KALKALPEN
GASTEIN
DRAUZUG
HA
TI
FLYSCH+HELVETIKUM
P+T
PAL
ALTKRISTALLIN
Au
Au

Abb. 2

Abb. 1